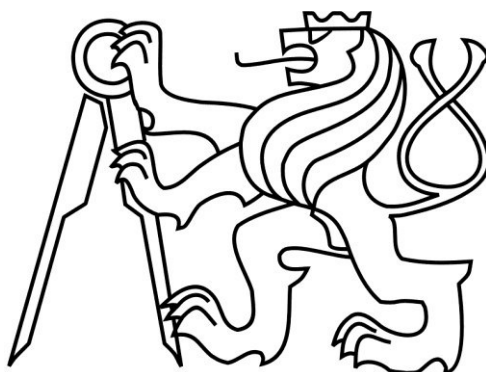


**České vysoké učení technické v Praze**

**Fakulta stavební**

**Katedra betonových a zděných konstrukcí**

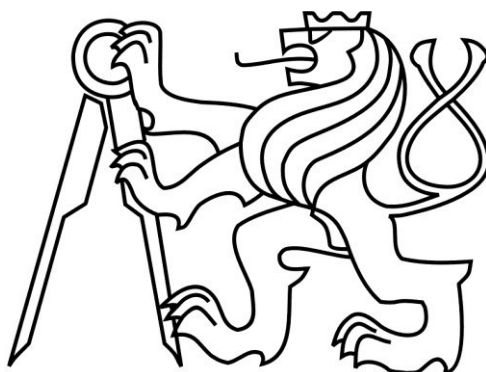


**Bakalářská práce**

**České vysoké učení technické v Praze**

**Fakulta stavební**

**Katedra betonových a zděných konstrukcí**



**Bakalářská práce**

**Analýza soudržnosti chemické kotvy v cementových kompozitech**

**Analysis of chemical anchor bond in cement composites**

**Vedoucí bakalářské práce: Ing. Josef Fládr, Ph.D.**

**Letní semestr 2016/2017**

**Barbora Holíková**



## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Holíková

Jméno: Barbora

Osobní číslo: 424467

Zadávací katedra: Katedra betonových a zděných konstrukcí

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

### II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Analýza soudržnosti chemické kotvy v cementových kompozitech

Název bakalářské práce anglicky: Analysis of chemical anchor bond in cement composites

Pokyny pro vypracování:

- Vypracovat rešerši na chemické kotvení betonářské výztuže do betonu.
- Vyrobit zkušební tělesa z různých druhů betonu pro zkoušky chemického kotvení.
- Provedení a vyhodnocení laboratorních zkoušek.

Seznam doporučené literatury:

- \* Drátkobetonové konstrukce, Krátký, Trtík, Vodička
- \* Technické podmínky firmy HILTI
- \* Statické podklady pro chemické kotvení, Ing. Jan Jonáš

Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Josef Fláýdr, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 22.2.2017

Termín odevzdání bakalářské práce: 28.5.2017

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příštího ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

*Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.*

23.2.2017

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem ČVUT 1/2009 „O dodržení etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.“

*podpis*

.....

.....

Místo zpracování, celé datum

jméno a příjmení

## **PODĚKOVÁNÍ**

Chtěla bych poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Josefu Fládrovi, Ph.D. za odborné vedení a rady při zpracování této bakalářské práce. Dále bych chtěla poděkovat Ing. Karlu Šepsovi, Ing. Romanu Chylíkovi, Ing. Tomáši Trtíkovi a studentům magisterského oboru K za pomoc při práci v laboratořích.

## ANOTACE

Tato práce se zabývá soudržností chemické kotvy. Cílem je zjistit, jaký vliv má použití drátkobetonu a množství použitých drátků na hloubku kotvení dodatečně vlepované výztuže, a porovnat výsledky s prostým betonem. Pro výrobu vzorků byl použit beton pevnostní třídy C 20/25, drátkobeton byly vyrobeny ze stejné receptury, pouze bylo přidáno 40 (80) kg drátků na  $\text{m}^3$  betonové směsi. Výztuž byla vlepována lepidlem Hilti HIT-RE 500 V3, hloubky kotvení byly 30, 50, 70, 100, 200 a 300 mm. Experimentálně zjištěné hodnoty byly porovnávány s návrhovými hodnotami. Zkouškami bylo zjištěno, že při hloubce kotvení 100 mm a větší se výztuž přetrhne, při menší kotevní délce se vytrhne s výjimkou drátkobetonu s 40 kg drátků na  $\text{m}^3$  betonu a hloubkou kotvení 70 mm, zde se výztuž částečně vytrhla, a nakonec i přetrhla. Hodnoty byly porovnány s kotevní délkou stanovenou z normy (EC2) a metodou Hilti HIT Rebar. Dle normy vycházela kotevní délka 417 mm, minimální kotevní délka 125 mm a dle metody HIT Rebar byla kotevní délka 104 mm pro skutečnou tahovou pevnost použitého betonu, tudíž všechny metody jsou na straně bezpečnosti.

## ANNOTATION

This work deals with the cohesion of adhesive anchoring systems. The aim is to find out the impact of using steel fibre concrete and the amount of used steel fibres on anchoring depth of the post-installed rebar and compare the results with plain concrete. Concrete C 20/25 was used for the production of samples, steel fibre concrete was made from the same recipe, only 40 (80) kg of steel fibres per  $\text{m}^3$  of concrete were added. The rebar was glued with Hilti HIT-RE 500 V3, the anchoring depths were 30, 50, 70, 100, 200 and 300 mm. The experimentally determined values were compared with the design values. When the anchorage depth was 100 mm or more the rebar was ruptured, the rebar with a smaller anchorage depth was ripped out. The exception was steel fibre concrete with 40 kg of steel fibres per  $\text{m}^3$  of concrete with the anchorage depth 70 mm, the rebar was partially ripped and finally ruptured. The results were compared with the anchorage length determined by the EC2 and the Hilti HIT Rebar. According to the EC2 the anchorage length was 417 mm, the minimum anchorage length was 125 mm and according to the HIT Rebar method the anchorage length was 104 mm for the tensile strength of used concrete, so all methods are on the safety side.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Beton, drátkobeton, výztuž, dodatečně vlepovaná výztuž, chemická kotva

## KEY WORDS

Concrete, steel fibre concrete, reinforcement, post-installed rebar, adhesive anchor

# OBSAH

1. ÚVOD .....	7
2. CHEMICKÉ KOTVY .....	9
2.1. Přenos zatížení .....	9
2.2. Porušení kotev.....	10
2.3. Podmínky použití.....	11
3. VÝROBA VZORKŮ .....	13
3.1. Úvod .....	13
3.2. Betonáž.....	14
4. ZKOUŠKY .....	17
4.1. Krychelná pevnost v tlaku .....	17
4.2. Pevnost v příčném tahu .....	19
4.3. Charakteristická pevnost betonu .....	21
4.4. Kotevní délka .....	25
4.5. Zkoušení vzorků.....	28
5. Vyhodnocení.....	32
5.1. Vlepovaná výztuž.....	32
5.2. Skutečná kotevní délka .....	35
6. Závěr .....	36



# 1. ÚVOD

Téma mé bakalářské práce vychází ze spolupráce se společností Hilti. Úkolem bylo zjistit, jaký vliv má použití drátkobetonu na hloubku kotvení chemické kotvy oproti prostému betonu. Zkoušky byly provedeny na principu dodatečně vlepované výztuže.

Pomocí dodatečně vlepované výztuže lze realizovat většinu napojení na stavbě – například stěn, desek, nosníků, základů nebo nosných sloupů. Nejčastěji se jedná o rozšiřování stávajících konstrukcí, jako například

- prodlužování stěn a sloupů,
- prodlužování nosníků a desek,
- rozšiřování balkonů,

připojování nových konstrukčních prvků ke stávajícím konstrukcím, opravu špatně umístěné výztuže nebo zesilování stávajících železobetonových prvků. Dodatečně vlepovaná výztuž také zjednodušuje práci s bedněním, například při napojení mezipodesty.

Dimenzování dodatečně vlepované výztuže je stejné jako u běžné výztuže, tedy výztuže ukládané do bednění před betonáží. EOTA<sup>1</sup> TR023 je publikace, která stanovuje postupy, jak ověřit, že dodatečně vlepená výztuž vykazuje shodné chování jako výztuž zabetonovaná běžným způsobem. ETA<sup>2</sup> je dokument, který u konkrétní lepicí hmoty potvrzuje, že je vhodná pro „Dodatečné provedení napojení výztuže“ s přihlédnutím k některým specifickým parametrům takto vlepené výztuže [1] [2].

Drátkobeton je jeden z druhů vláknobetonů s rozptýlenou kovovou výztuží. Rozdíl mezi drátkobetonem a prostým betonem se projeví při porovnání obou vzorků při namáhání tlakem. U drátkobetonu se projeví schopnost plastického přetvoření po dosažení maximálního napětí, po vzniku trhlin se aktivují drátky. Porušení se výrazně liší od prostého betonu. Ještě výrazněji se projeví rozdíl při namáhání tahem. U drátkobetonu se projeví nejen vzrůst pevnosti v tahu způsobený oddálením rozvoje mikrotrhlin v jeho struktuře, ale

---

<sup>1</sup> Technické zprávy EOTA uvádějí podrobnosti některých obecně známých a existujících poznatků a zkušeností schvalovacích orgánů [8].

<sup>2</sup> Evropské technické schválení je kladné technické posouzení vhodnosti výrobku k určenému použití založené na splnění základních požadavků na stavby, pro něž bude výrobek použit [8].

také skutečnost, že po vzniku trhlin vlákna způsobí, že je drátkobeton schopen přenášet jistá reziduální taková napětí, na rozdíl od prostého betonu, který je porušen křehkým lomem. Pevnost drátkobetonu v tahu je závislá na hmotnostní koncentraci drátků. Ta se pohybuje v rozmezí od 30, lépe 40 kg/m<sup>3</sup> do koncentrace, kdy jde drátkobetonovou směs již jen velmi obtížně zpracovat (100-150 kg/m<sup>3</sup>) [3].

Hloubka kotvení výztuže závisí mimo jiné na pevnosti betonu v tahu. Jak již bylo zmíněno, drátkobeton má pevnost v tahu vyšší než běžný beton. Předpokladem tedy je, že pro stejné namáhání je kotevní délka v drátkobetonu menší než při použití prostého betonu.

## 2. CHEMICKÉ KOTVY

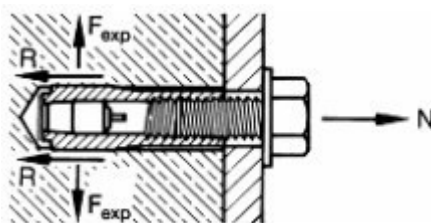
Široká škála dnešních stavebních materiálů poskytuje různé podmínky pro kotvení. Vlastnosti základního materiálu hrají rozhodující roli při výběru kotev. Dodatečné kotvení je možné realizovat pomocí mechanických nebo chemických kotev. Mechanické kotvy drží pouze v jednom bodě kotvy – v kořenu a je možné je zatížit ihned po osazení. Na rozdíl od toho chemické kotvy drží po celé své délce a je možné je zatížit až po zatvrdnutí lepidla.

Chemické kotvy jsou obvykle dvousložková lepidla na bázi pryskyřic a dalších vylepšujících přísad. Používají se pro kotvení ocelových konstrukcí, fasád nebo například do děrovaných cihel. Výhoda při použití pro dodatečně vlepovanou výztuž je, že se výztuž nemusí nijak upravovat. Vlastnosti lepidel se odvíjejí od druhu použité pryskyřice. Některé kotvy je možné používat i ve vlhkém prostředí nebo je po zatvrdnutí vystavit vodě.

### 2.1. Přenos zatížení

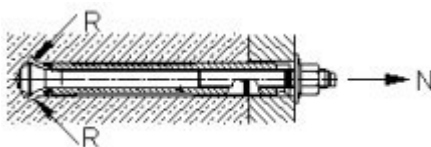
Toto jsou 3 základní principy, jak kotvy působí v základním materiálu:

- tření – tahové zatížení  $N$  se přenáší na základní materiál třením  $R$



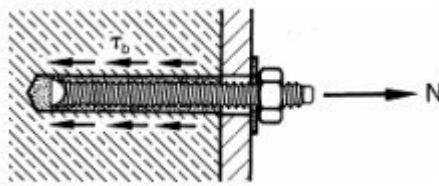
Obr. 1 přenos zatížení – tření

- tvarový zámek – tahové zatížení  $N$  je v rovnováze s reakcemi  $R$



Obr. 2 přenos zatížení – tvarový zámek

- soudržnost – vzniká mezi kotvou a základním materiálem pomocí lepidla



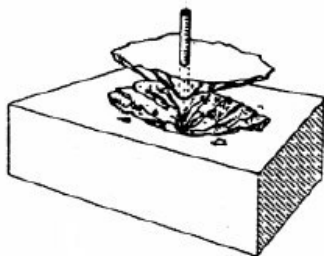
Obr. 3 přenos zatížení – soudržnost

Mnoho kotev funguje na principu kombinace těchto principů.

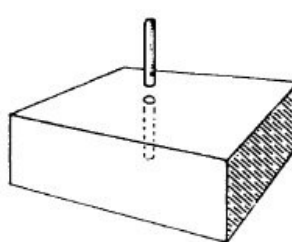
## 2.2. Porušení kotev

Selhání kotev při stále se zvyšujícím zatížení může být následující:

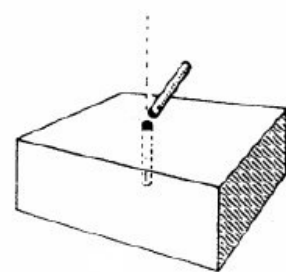
**Vytržení betonového kužele**



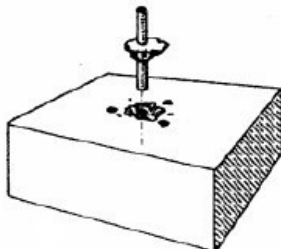
**Vytažení kotvy**



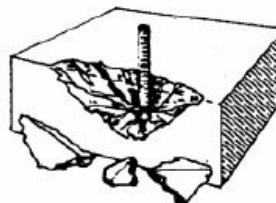
**Porušení kotvy**



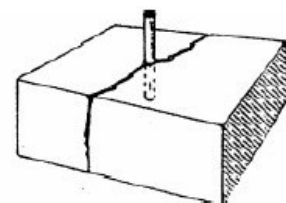
**Kombinace vytažení/vytržení betonového kužele**



**Porušení okraje betonu**



**Rozštěpení betonu**



Obr. 4 typy porušení chemické kotvy

Nejslabší místo v kotevní oblasti určuje příčinu selhání. Pokud jsou kotvy v dostatečné vzdálenosti od kraje prvku a mají dostatečné rozestupy mezi sebou, jsou namáhány pouze tahem. Tyto příčiny porušení řídí maximální únosnost kotev, případně pevnost v tahu základního materiálu. Nedostatečná vzdálenost od okraje způsobí porušení odlamováním materiálu na hraně prvku, maximální únosnost kotev je potom menší.

Smyková síla způsobuje odprýskávání materiálu na jedné straně kotevního otvoru a poté je kotva namáhána ohybem nebo je usmyknuta. V případě, že je vzdálenost od okraje

prvku malá a smykové zatížení působí směrem k okraji prvku, hrana se odtrhne. [4]



*Obr. 5 vytržení kuželu – prostý beton*

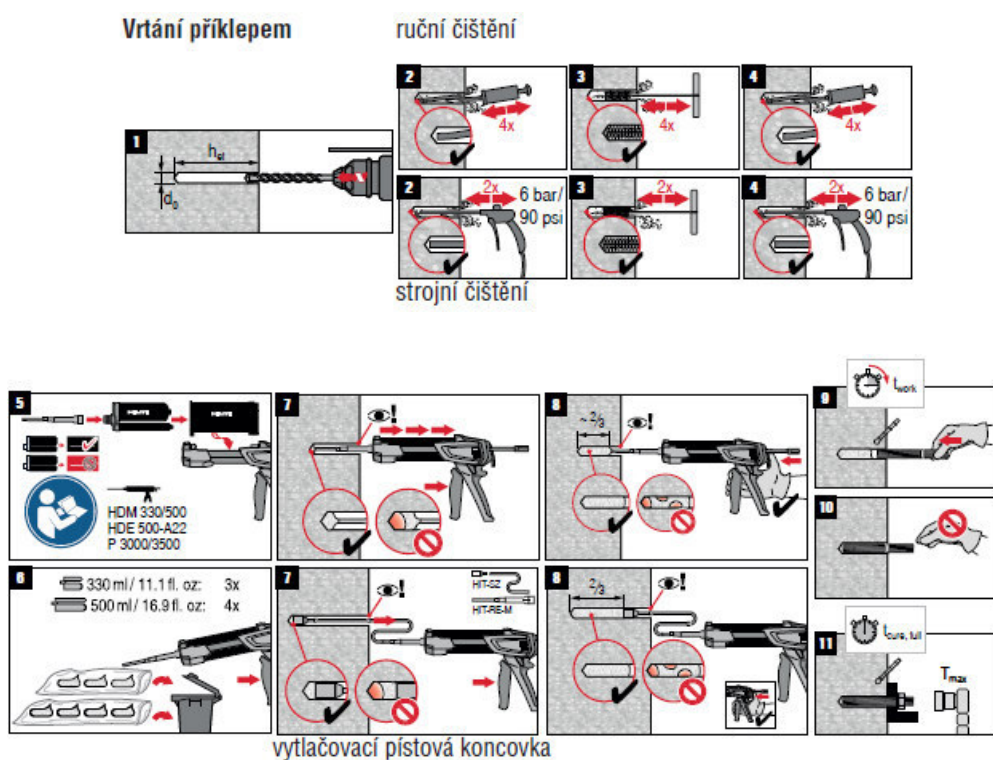
### 2.3. Podmínky použití

Pro zkoušky bylo použito lepidlo Hilti HIT-RE 500 V3. Je to dvousložková lepicí hmota na bázi epoxidové pryskyřice pro těžké kotvení s kotevními šrouby, závitovými tyčemi, závitovými pouzdry a pro dodatečné vlepování betonářské výztuže do betonu. Jako základní materiál může být použit beton bez trhlin nebo s trhlinami. Lepicí hmota se používá pro

- kotvení nosných ocelových konstrukcí, sloupů,
- schodiště, zábradlí, bezpečnostní bariéry,
- dodatečné vlepování betonářské výztuže,

- spřahování nosných konstrukcí,
- kotvení v otvorech vrtaných diamantem.

Po vyvrtání musí být otvor důkladně vyčištěn. Doba pro zpracování a vytvrzení lepidla závisí na teplotě, při které je aplikováno. Při aplikaci byla v laboratoři teplota 23 °C, to znamená, že doba pro zpracování byla 30 minut a doba pro vytvrzení 7 hodin [5].



Obr. 6 postup osazování

### 3. VÝROBA VZORKŮ

#### 3.1. Úvod

Cílem mé bakalářské práce bylo zjistit chování dodatečně vlepované výztuže v drátkobetonu. Pro porovnání vlivu množství drátků byly vyrobeny vzorky ze 3 různých receptur – prostý beton (viz Tab. 1), drátkobeton s 40 kg drátků na m<sup>3</sup> betonu (viz Tab. 3) a drátkobeton s 80 kg drátků na m<sup>3</sup> betonu (viz Tab. 2). Receptury připravil Ing. Josef Fládr, Ph.D. Z každé směsi bylo vyrobeno 6 zkušebních těles a normové krychle (150x150x150mm) pro stanovení pevnosti betonu v tlaku a příčném tahu.

*Tab. 1 dávkování složek – prostý beton; betonáž 6.3.2017*

složka	popis	kg/m <sup>3</sup>
cement	42,5 R	325
voda		142
vodní součinitel	v/c	0,44
kamenivo křemen	8-16	750
	4-8	225
	0-4	842
superplastifikátor	Stachement 2180	3,1

*Tab. 2 dávkování složek – drátkobeton 80 kg/m<sup>3</sup>; betonáž 13.3.2017*

složka	popis	kg/m <sup>3</sup>
cement	42,5R	325
voda		142
vodní součinitel	v/c	0,44
kamenivo křemen	8-16	750
	4-8	225
	0-4	842
superplastifikátor	Stachement 2180	3,1
drátky	Dramix 65/35 BN	40

Tab. 3 dávkování složek – drátkobeton 40 kg/m<sup>3</sup>; betonáž 20.3.2017

složka	popis	kg/m <sup>3</sup>
cement	42,5 R	325
voda		142
vodní součinitel	v/c	0,44
kamenivo křemen	8-16	750
	4-8	225
	0-4	842
superplastifikátor	Stachement 2180	3,1
drátky	Dramix 65/35 BN	80

Drátky v betonu zvyšují jeho tažnost a únosnost. Drátky Dramix 65/35 BN jsou tažené za studena se zahnutými konci pro optimální kotvení. Výrobce udávaný průměr drátků je 0,55 mm, délka 35 mm a modul pružnosti 210000 MPa [6].



Obr. 7 drátky Dramix 65/35 BN

### 3.2. Betonáž

Všechny práce byly prováděny v laboratoři na Stavební fakultě ČVUT. Kvůli omezenému počtu forem byly vzorky vyráběny postupně. Jako první byly vyrobeny vzorky z prostého betonu, výroba proběhla dne 6.3.2017. Nejprve byly naváženy jednotlivé materiály podle příslušné receptury, následně byla vyrobena betonová směs. Mezitím byly všechny formy



opatřeny odbedňovacím nátěrem. Z každé záměsi bylo vyrobeno jedno zkušební těleso pro chemické kotvení a 2 normové krychle, celkem bylo vyrobeno 6 zkušebních těles a 12 krychlí.



*Obr. 8 navážené suroviny*

Zkušební tělesa byly hranoly o rozměrech 400 x 250 x 250 mm, bednění bylo vyrobeno z lamina na výrobu nábytku. Všechny formy byly plněny po třetinách a hutněny na vibračních stolech. Odbedňování vzorků bylo po 2 dnech od betonáže.



*Obr. 9 bednění na výrobu zkušebních těles*



*Obr. 10 hotové vzorky po betonáži a hutnění*

O týden později, tedy 13.3.2017 byly vyrobeny další vzorky společně s normovými krychlemi, tentokrát z drátkobetonu s 80 kg drátků na  $\text{m}^3$  betonu. Poslední vzorky byly z drátkobetonu s 40 kg drátků na  $\text{m}^3$  betonu, ty byly vyrobeny 20.3.2017. Z drátkobetonu bylo vyrobeno vždy jenom 6 normových krychlí z obou receptur, zkušebních těles bylo vždy 6. Postup prací byl stejný jako u vzorků z prostého betonu, odbednění bylo také po 2 dnech.

Po pěti dnech byl do zkušebních těles zhotoven otvor průměru 12 mm pro hloubku kotvení 30, 50 a 70 mm a otvor průměru 14 mm pro kotvení hloubky 100, 200 a 300 mm. Průměr otvoru byl volen podle technických požadavků výrobce kotvicí techniky. Otvory byly vrtány do mladého betonu z důvodu usnadnění práce. Při realizaci otvorů pro dodatečně vlepanou výztuž se ukázalo jako velmi obtížné důkladně vyčistit nově vzniklý otvor od prachu, který vznikl během vrtání. Po odvrtání požadované hloubky otvoru a následné kontrole správné hloubky se ukázalo, že se vrt zasypal až o 20 mm.

## 4. ZKOUŠKY

### 4.1. Krychelná pevnost v tlaku

Zkouška tlakové pevnosti byla provedena na krychlích o hraně 150 mm. Vzorky byly zkoušeny po 28 dnech od betonáže. Krychle byly vkládány mezi desky lisu kolmo na směr hutnění. Před začátkem zkoušky byla ověřena jejich geometrie a byly zváženy. Byly zkoušeny vždy 3 krychle z obou receptur drátkobetonu a 6 krychlí z prostého betonu. Krychelná pevnost se potom stanoví ze vzorce:

$$f_c = \frac{F}{A}$$

kde:  $f_c$  je pevnost vzorku v tlaku [MPa]

F maximální dosažená síla [N]

A tlačená plocha [mm<sup>2</sup>]

Tab. 4 výsledky tlakové zkoušky – prostý beton

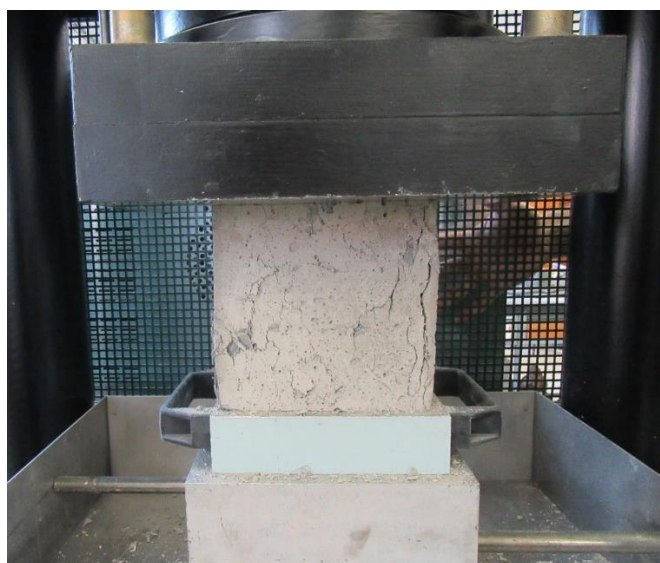
označení	rozměry			hmotnost	objem. hmotnost	tlačená plocha (A)	dosažená síla (F)	pevnost ( $f_c$ )
	délka	šířka	výška					
	mm	mm	mm					
				g	kg/m <sup>3</sup>	x10 <sup>3</sup> mm <sup>2</sup>	kN	MPa
1	149,7	148,5	149,1	7669,4	2316	22,23	883,12	<b>39,7</b>
2	149,0	144,1	149,1	7454,0	2329	21,47	842,78	<b>39,3</b>
3	150,3	147,0	150,2	7749,4	2335	22,09	810,04	<b>36,7</b>
4	148,7	149,3	149,4	7755,0	2339	22,20	972,41	<b>43,8</b>
5	144,5	149,3	149,3	7560,0	2348	21,57	962,80	<b>44,7</b>
6	146,1	149,2	149,2	7680,0	2362	21,80	909,06	<b>41,7</b>

Tab. 5 výsledky tlakové zkoušky – drátkobeton s 80 kg drátků na m<sup>3</sup> betonu

označení	rozměry			hmotnost	objem. hmotnost	tlačená plocha (A)	dosažená síla (F)	pevnost (f <sub>c</sub> )
	délka	šířka	výška					
	mm	mm	mm					
				g	kg/m <sup>3</sup>	x10 <sup>3</sup> mm <sup>2</sup>	kN	MPa
1	151,7	149,3	149,8	8040,0	2369	22,65	1174,31	<b>51,8</b>
2	149,3	148,2	149,1	7725,0	2342	22,13	1149,28	<b>51,9</b>
3	149,2	151,8	149,3	7960,0	2355	22,65	1113,90	<b>49,2</b>

Tab. 6 výsledky tlakové zkoušky – drátkobeton s 40 kg drátků na m<sup>3</sup> betonu

označení	rozměry			hmotnost	objem. hmotnost	tlačená plocha (A)	dosažená síla (F)	pevnost (f <sub>c</sub> )
	délka	šířka	výška					
	mm	mm	mm					
				g	kg/m <sup>3</sup>	x10 <sup>3</sup> mm <sup>2</sup>	kN	MPa
1	151,5	149,1	149,1	8010,0	2379	22,59	879,44	<b>38,9</b>
2	149,9	151,1	150,0	8070,0	2375	22,65	886,63	<b>39,1</b>
3	149,0	150,3	149,9	7955,0	2370	22,39	862,40	<b>38,5</b>



Obr. 11 porušený vzorek – zkouška tlakové pevnosti

#### 4.2. Pevnost v příčném tahu

Pevnost v příčném tahu se zkouší na stejných tělesech jako pevnost v tlaku, tedy na krychlích o hraně 150 mm. Před začátkem zkoušky se opět ověří geometrie a vzorky se zváží. Krychle jsou v lisu zatěžovány liniově, tahová napětí jsou vyvozována nepřímo soustředěným tlakovým namáháním. Stejně jako u tlakové zkoušky bylo zkoušeno 6 vzorků z prostého betonu a 3 vzorky z každé receptury drátkobetonu. Pevnost v tahu se stanoví ze vzorce:

$$f_{ct} = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot l \cdot d}$$

kde:  $f_{ct}$  je pevnost vzorku v příčném tahu [MPa]

F maximální dosažená síla [N]

l délka dotykové přímky [mm]

d příčný rozměr tělesa [mm]

Tab. 7 výsledky zkoušky v příčném tahu – prostý beton

označení	rozměry			hmotnost	objem. hmotnost	dosažená síla (F)	pevnost ( $f_{ct}$ )
	délka	šířka	výška				
	mm	mm	mm				
1	149,9	146,8	149,8	7641,0	2319	89,18	<b>2,58</b>
2	150,1	151,1	150,3	7978,3	2341	89,65	<b>2,51</b>
3	146,8	149,3	149,4	7630,0	2329	116,72	<b>3,33</b>
4	149,0	149,3	149,3	7720,0	2324	123,91	<b>3,54</b>
5	144,4	149,2	149,2	7555,0	2352	117,68	<b>3,37</b>

Kvůli nedostatku betonové směsi při jedné záměsi bylo v příčném tahu zkoušeno pouze 5 vzorků, 6. krychle byla příliš malá.

Tab. 8 výsledky zkoušky v příčném tahu – drátkobeton s 80 kg drátků na m<sup>3</sup> betonu

označení	rozměry			hmotnost	objem. hmotnost	dosažená síla (F)	pevnost (f <sub>ct</sub> )
	délka	šířka	výška				
	mm	mm	mm				
1	150,2	149,2	149,4	7915,0	2364	287,70	<b>8,22</b>
2	150,2	149,2	149,4	7915,0	2364	285,97	<b>8,17</b>
3	151,8	149,1	149,2	7960,0	2357	282,94	<b>8,09</b>

Tab. 9 výsledky zkoušky v příčném tahu – drátkobeton s 40 kg drátků na m<sup>3</sup> betonu

označení	rozměry			hmotnost	objem. hmotnost	dosažená síla (F)	pevnost (f <sub>c</sub> )
	délka	šířka	výška				
	mm	mm	mm				
1	149,1	150,6	149,1	7935,0	2370	177,14	<b>5,02</b>
2	150,0	141,8	150,1	7560,0	2368	187,79	<b>5,62</b>
3	149,0	144,4	148,9	7635,0	2383	165,25	<b>4,89</b>



Obr. 12 porušený vzorek – zkouška pevnosti v příčném tahu

### 4.3. Charakteristická pevnost betonu

Norma ČSN EN 1990 příloha D umožňuje provést statistické vyhodnocení naměřených hodnot dle normálního rozdělení (Studentova T – rozdělení). Charakteristická hodnota pevnosti betonu je potom definována jako 5 % kvantil tohoto rozdělení.

Nejdříve stanovíme střední hodnotu  $f_m$ :

$$f_m = \frac{1}{n} \cdot \sum_n f_i$$

kde:  $f_m$  je střední hodnota pevnosti

$n$  počet měření

$f_i$  pevnost i-tého vzorku

Dále stanovíme výběrovou směrodatnou odchylku  $s$  jako:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_n (f_i - f_m)^2}$$

Variační koeficient  $V$  se stanoví podle:

$$V = \frac{s}{f_m}$$

Výsledná charakteristická hodnota se pak stanoví podle následujícího vzorce:

$$f_k = f_m \cdot (1 - k_n \cdot V)$$

kde:  $f_m$  je střední hodnota [MPa]

$V$  variační koeficient

$k_n$  součinitel, který závisí na typu variačního koeficientu (známý/neznámý) a počtu měření, stanoví se dle tabulky v normě

Pevnost prostého betonu

- v tlaku

střední hodnota

$$f_m = \frac{1}{6} \cdot (39,7 + 39,3 + 36,7 + 43,8 + 44,7 + 41,7) = 41,0 \text{ MPa}$$

směrodatná odchylka

$$s = \left( \frac{1}{6-1} \cdot ((39,7 - 41,0)^2 + (39,3 - 41,0)^2 + (36,7 - 41,0)^2 + (43,8 - 41,0)^2 + (44,7 - 41,0)^2 + (41,7 - 41,0)^2) \right)^{1/2} = 3,00MPa$$

variační koeficient

$$V = \frac{3,00}{41,0} = 0,07$$

charakteristická hodnota

$$f_{ck} = 41,0 \cdot (1 - 2,18 \cdot 0,07) = 34,7MPa$$

- v příčném tahu

střední hodnota

$$f_m = \frac{1}{5} \cdot (2,58 + 2,51 + 3,33 + 3,54 + 3,37) = 3,07MPa$$

směrodatná odchylka

$$s = \left( \frac{1}{5-1} \cdot ((2,58 - 3,07)^2 + (2,51 - 3,07)^2 + (3,33 - 3,07)^2 + (3,54 - 3,07)^2 + (3,37 - 3,07)^2) \right)^{1/2} = 0,48MPa$$

variační koeficient

$$V = \frac{0,48}{3,07} = 0,16$$

charakteristická hodnota

$$f_{ct,sp,k} = 3,07 \cdot (1 - 2,33 \cdot 0,16) = 1,93MPa$$

- převod na pevnost v osovém tahu

$$f_{ctk} = 0,9 \cdot 1,93 = 1,74MPa$$



Pevnost drátkobetonu s 80 kg drátků na m<sup>3</sup> betonu

- v tlaku

střední hodnota

$$f_m = \frac{1}{3} \cdot (51,8 + 51,9 + 49,2) = 51,0 \text{ MPa}$$

směrodatná odchylka

$$s = \sqrt{\frac{1}{3-1} \cdot ((51,8 - 51,0)^2 + (51,9 - 51,0)^2 + (49,2 - 51,0)^2)} = 1,53 \text{ MPa}$$

variační koeficient

$$V = \frac{1,53}{51,0} = 0,03$$

charakteristická hodnota

$$f_{ck} = 51,0 \cdot (1 - 3,37 \cdot 0,03) = 45,8 \text{ MPa}$$

- v příčném tahu

střední hodnota

$$f_m = \frac{1}{3} \cdot (8,22 + 8,17 + 8,09) = 8,16 \text{ MPa}$$

směrodatná odchylka

$$s = \sqrt{\frac{1}{3-1} \cdot ((8,22 - 8,16)^2 + (8,17 - 8,16)^2 + (8,09 - 8,16)^2)} = 0,07 \text{ MPa}$$

variační koeficient

$$V = \frac{0,07}{8,16} = 0,01$$

charakteristická hodnota

$$f_{ct,sp,k} = 8,16 \cdot (1 - 3,37 \cdot 0,01) = 7,89 \text{ MPa}$$

- převod na pevnost v osovém tahu

$$f_{ctk} = 0,85 \cdot 7,89 = 6,71 \text{ MPa}$$

Pevnost drátkobetonu s 40 kg drátků na m<sup>3</sup> betonu

- v tlaku

střední hodnota

$$f_m = \frac{1}{3} \cdot (38,9 + 39,1 + 38,5) = 38,8 \text{ MPa}$$

směrodatná odchylka

$$s = \sqrt{\frac{1}{3-1} \cdot ((38,9 - 38,8)^2 + (39,1 - 38,8)^2 + (38,5 - 38,8)^2)} = 0,31 \text{ MPa}$$

variační koeficient

$$V = \frac{0,31}{38,8} = 0,01$$

charakteristická hodnota

$$f_{ck} = 38,8 \cdot (1 - 3,37 \cdot 0,01) = 37,5 \text{ MPa}$$

- v příčném tahu

střední hodnota

$$f_m = \frac{1}{3} \cdot (5,02 + 5,62 + 4,89) = 5,18 \text{ MPa}$$

směrodatná odchylka

$$s = \sqrt{\frac{1}{3-1} \cdot ((5,02 - 5,18)^2 + (5,62 - 5,18)^2 + (4,89 - 5,18)^2)} = 0,39 \text{ MPa}$$

variační koeficient

$$V = \frac{0,39}{5,18} = 0,08$$

charakteristická hodnota

$$f_{ct,sp,k} = 5,18 \cdot (1 - 3,37 \cdot 0,08) = 3,78 \text{ MPa}$$

- převod na pevnost v osovém tahu

$$f_{ctk} = 0,85 \cdot 3,78 = 3,21 \text{ MPa}$$

Dle získaných pevností zatřídíme betony do pevnostních tříd:

Tab. 10 zatřídění betonů do pevnostních tříd

	pevnost v tlaku $f_{ck}$ [MPa]	pevnost v tahu $f_{ctk}$ [MPa]	pevnostní třída
prostý beton	34,7	1,74	C20/25
drátkobeton s 80 kg drátků	45,8	6,71	C35/45
drátkobeton s 40 kg drátků	37,5	3,21	C30/37

#### 4.4. Kotevní délka

Výpočet kotevní délky podle EC2 závisí na kvalitě betonu, podmínkách soudržnosti a povrchu výztuže. Norma neuvažuje pro vyztužování železobetonových prvků použití hladké výztuže, pro žebříkovou výztuž se určuje návrhová hodnota mezního napětí v soudržnosti  $f_{bd}$  ze vztahu:

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd}$$

kde:  $f_{ctd}$  je návrhová pevnost betonu v tahu

$\eta_1$  součinitel zohledňující kvalitu podmínek soudržnosti a polohu prutu během betonáže

$\eta_2$  součinitel zohledňující průměr prutu

Základní kotevní délka  $l_{b,rqd}$  je délka zabetonovaného přímého prutu nutná k zachycení síly  $A_s \sigma_{sd}$  stanovená za předpokladu, že napětí v soudržnosti je podél této kotevní délky konstantní a rovná se  $f_{bd}$ .

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}}$$

kde:  $\sigma_{sd}$  je návrhové namáhání prutu v místě, odkud se měří kotvení

$f_{bd}$  mezní napětí v soudržnosti (viz výše)

Návrhová kotevní délka  $l_{bd}$  se stanoví ze základní kotevní délky s uvažováním ovlivňujících faktorů. Pro ohnuté pruty se návrhová kotevní délka měří podél střednice prutu. Návrhová kotevní délka je dána vztahem:

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} \geq l_{b,min}$$

kde:  $l_{b,min}$  je minimální kotevní délka;

pro kotvení v oblastech tahu  $l_{b,min} > \max(0,3 l_{b,rqd}, 10\phi, 100 \text{ mm})$

pro tlačené pruty  $l_{b,min} > \max(0,6 l_{b,rqd}, 10\phi, 100 \text{ mm})$

- $\alpha_1$  součinitel zohledňující tvar prutu
- $\alpha_2$  součinitel zohledňující tloušťku krycí vrstvy betonu a mezery mezi pruty
- $\alpha_3$  součinitel zohledňující vliv příčné výztuže
- $\alpha_4$  součinitel zohledňující vliv příčně přivařené výztuže
- $\alpha_5$  součinitel zohledňující vliv tlaku kolmého na plochu štěpení podél návrhové kotevní délky u tažených prutů

Pro předpokládanou třídu betonu C20/25 při uvažování všech součinitelů  $\alpha_1 - \alpha_5$  rovných 1,0 a výztuže  $\phi 10$  je kotevní délka podle normy:

$$f_{bd} = 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot \frac{1,5}{1,5} = 2,25 \text{ MPa}$$

$$l_{b,rqd} = \frac{10}{4} \cdot \frac{435}{2,25} = 483 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 483 = 483 \text{ mm}$$

Minimální kotevní délka je:

$$l_{b,min} = \max(0,3 \cdot 483, 10 \cdot 10, 100 \text{ mm}) = 145 \text{ mm}$$

Dle katalogu pro projektanty výrobce uvádí hloubku kotvení 300 mm, ze které vycházely hloubky kotvení zkušebních těles [5].

Dle návrhové metody HIT Rebar výrobce rozšiřuje návrhový přístup normy EC2 na základě interního i externího výzkumu. Metoda vychází z příhradové analogie pro přímou výztuž rámového styčníku, kterou firma Hilti vyvinula ve spolupráci s Technickou univerzitou v Mnichově.

Norma připouští hodnoty součinitele  $\alpha_2$  v rozmezí od 0,7 do 1,0. Dle metody HIT Rebar lze hodnotu součinitele  $\alpha_2'$  snížit až na 0,25 s ohledem na podmínky štěpení betonu.

Stanovení hodnoty součinitele  $\alpha_2'$  dle HIT Rebar:

$$\alpha_2' = \frac{1}{\frac{1}{0,7} + \delta \cdot \frac{c_d - 3\phi}{\phi}}$$

kde:  $\delta$  je součinitel;  $\delta = 0,306$

$c_d$  návrhová kotevní délka;

$$c_d = \min(a/2, c_1, c)$$

$a$  je světlá vzdálenost mezi pruty

$c, c_1$  krycí vrstva v obou směrech

Hodnota součinitele  $\alpha_2'$  pro stanovení kotevní délky pro výztuž zkušebních těles:

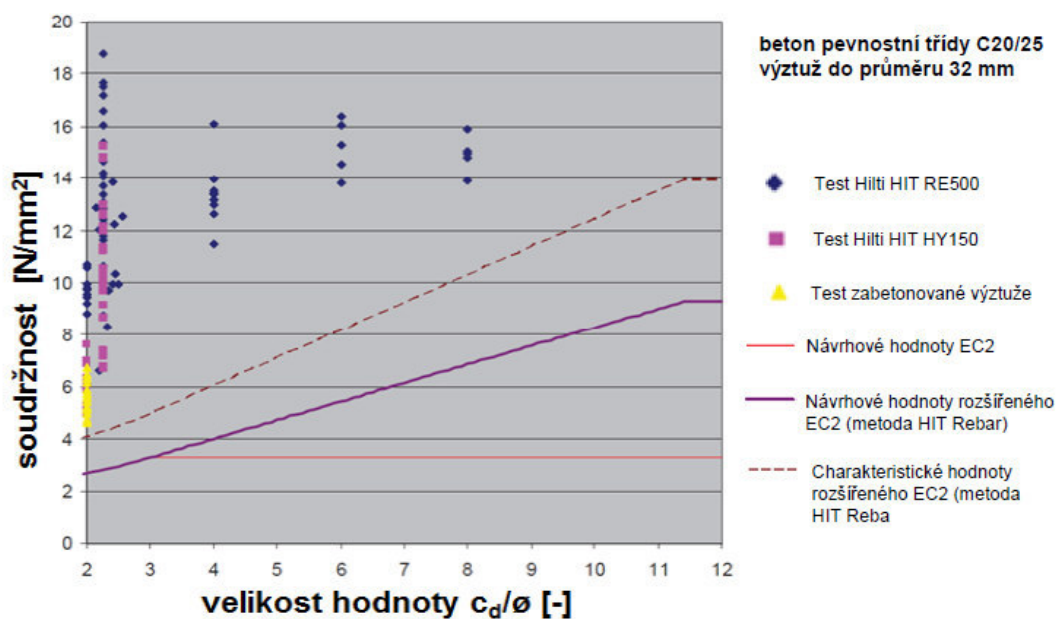
$$\alpha_2' = \frac{1}{\frac{1}{0,7} + 0,306 \cdot \frac{125 - 3 \cdot 10}{10}} = 0,23$$

$c_d = \min(125, 125) = 125 \text{ mm}$ ; kvůli vyztužení pouze jedním prutem nelze stanovit hodnotu  $a/2$

Jelikož výrobce uvádí minimální hodnotu součinitele 0,25, v dalším výpočtu bude použita tato hodnota [1] [2].

Kotevní délka se potom stanoví ze vzorce podle normy:

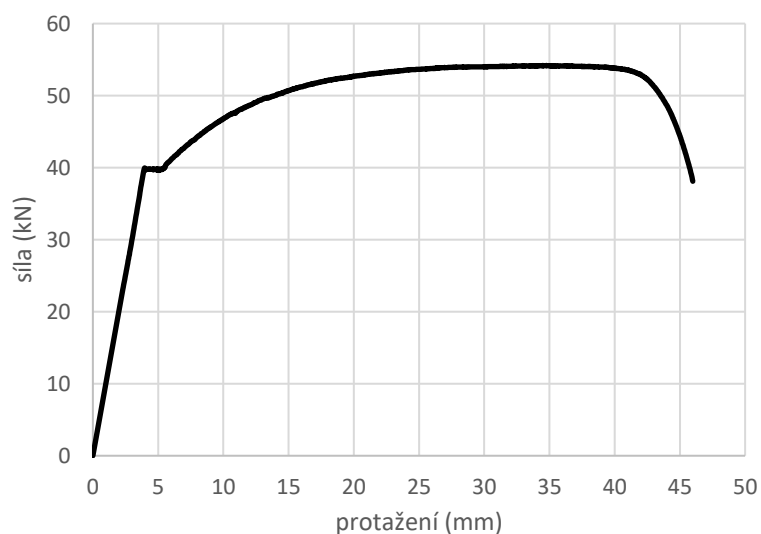
$$l_{bd} = 1,0 \cdot 0,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 483 = 121 \text{ mm}$$



Obr. 13 výsledky zkoušek od výrobce pro metodu HIT Rebar [2]

#### 4.5. Zkoušení vzorků

V lisu byla zkoušena použitá výztuž kvůli určení tažnosti oceli. Výztuž se přetrhla při síle 54,19 kN, tažnost byla kolem 13 %, která odpovídá třídě tažnosti C.

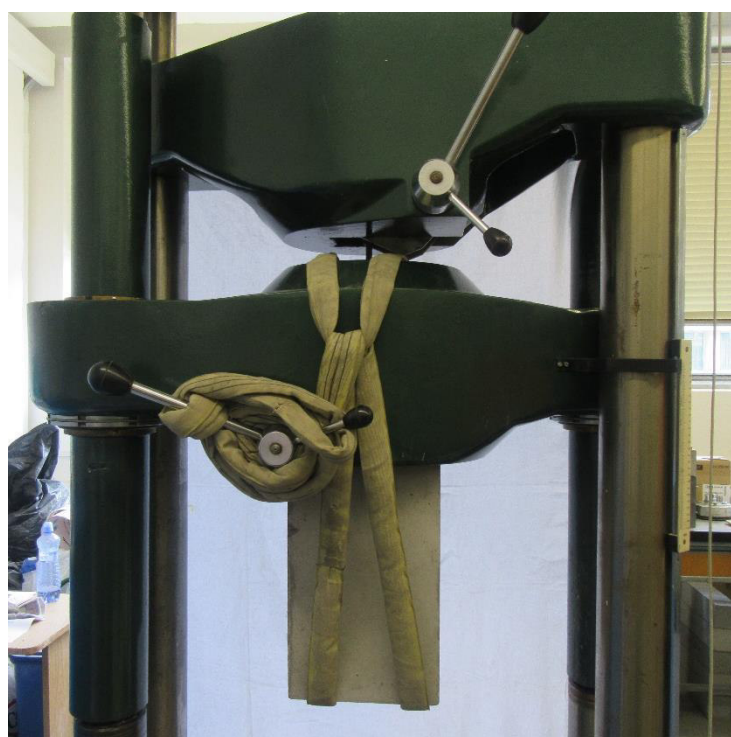


Obr. 14 pracovní diagram výztuže



*Obr. 15 přetržená zkoušená výztuž*

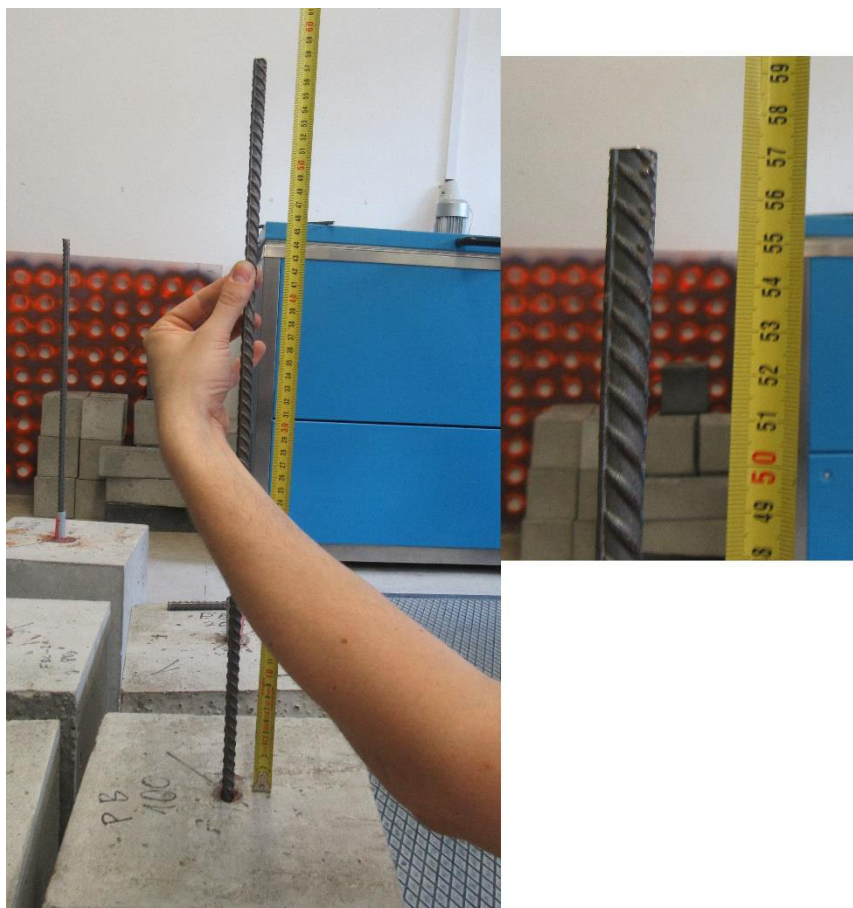
Vzorky byly zkoušeny po 28 dnech od betonáže a po vytvrzení chemické kotvy (min. 7 h). Zkoušky byly provedeny v laboratořích na FSV ČVUT. Zatěžování bylo konstantní deformací 5 mm/min.



*Obr. 16 zkoušení tělesa*

Vzorky byly vloženy do lisu (viz Obr. 16) tak, že v horní části byl upevněn konec výztuže, spodní část lisu byla opřena po obvodě vzorku, aby bylo možné beton vytrhnout.

Při zkoušení vzorků s větším kotvením (100, 200, 300 mm) byla vždy přetržena výztuž. Délka výztuže, která vyčnívala ze zkušebních těles, byla 500 mm. Při zkouškách se protáhla vždy přibližně o 70 mm, tím se potvrdila třída tažnosti C (tažnost byla kolem 14 %).



*Obr. 17 protažení výztuže zkušebních těles*

U některých vzorků byla částečně porušená povrchová vrstva v okolí výztuže (viz Obr. 18). To bylo způsobeno nedokonalé svislým vyvrtáním otvoru a následným vlepením výztuže, výztuž byla částečně ohýbána.



*Obr. 18 porušení povrchové vrstvy*



Ze vzorků s menším kotvením (30, 50, 70 mm) se dle předpokladů výztuž vytrhla. Pouze u drátkobetonu s hloubkou kotvení 70 mm se výztuž vytrhla pouze částečně, ke kolapsu došlo přetržením výztuže. To mohlo být způsobené například zvětšením tahové pevnosti nerovnoměrným rozložením drátků v betonu – zhuštěním v místě vrtu.



*Obr. 19 částečné vytržení výztuže*

## 5. Vyhodnocení

### 5.1. Vlepovaná výztuž

Výsledky zkoušek chemické kotvy ukazuje následující tabulka.

Tab. 11 výsledky zkoušek chemické kotvy

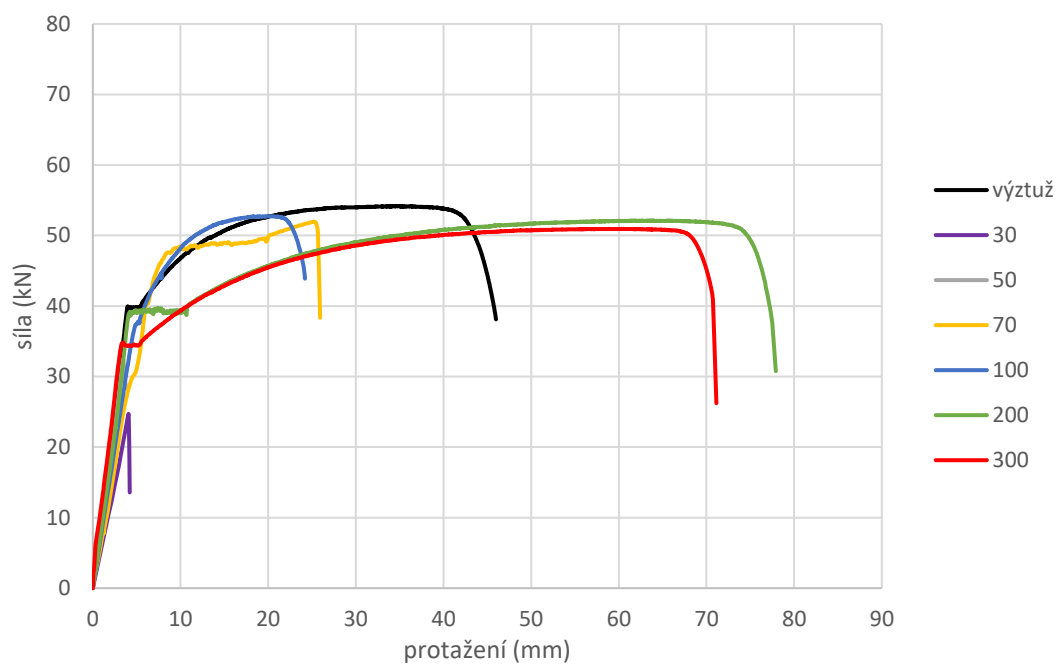
beton	hloubka kotvení [mm]	typ porušení	max. dosažená síla [kN]
prostý beton	30	vytržení výztuže	24,61
	50	vytržení výztuže	32,46
	70	vytržení výztuže	51,96
	100	přetržení výztuže	52,73
	200	přetržení výztuže	52,11
	300	přetržení výztuže	51,04
drátkobeton 80 kg drátků na m <sup>3</sup>	30	vytržení výztuže	29,65
	50	vytržení výztuže	45,73
	70	vytržení výztuže	19,38
	100	přetržení výztuže	50,96
	200	přetržení výztuže	55,46
	300	přetržení výztuže	56,73
drátkobeton 40 kg drátků na m <sup>3</sup>	30	vytržení výztuže	25,77
	50	vytržení výztuže	40,80
	70	částečné vytržení + přetržení výztuže	55,73
	100	přetržení výztuže	54,50
	200	přetržení výztuže	71,42
	300	přetržení výztuže	68,88



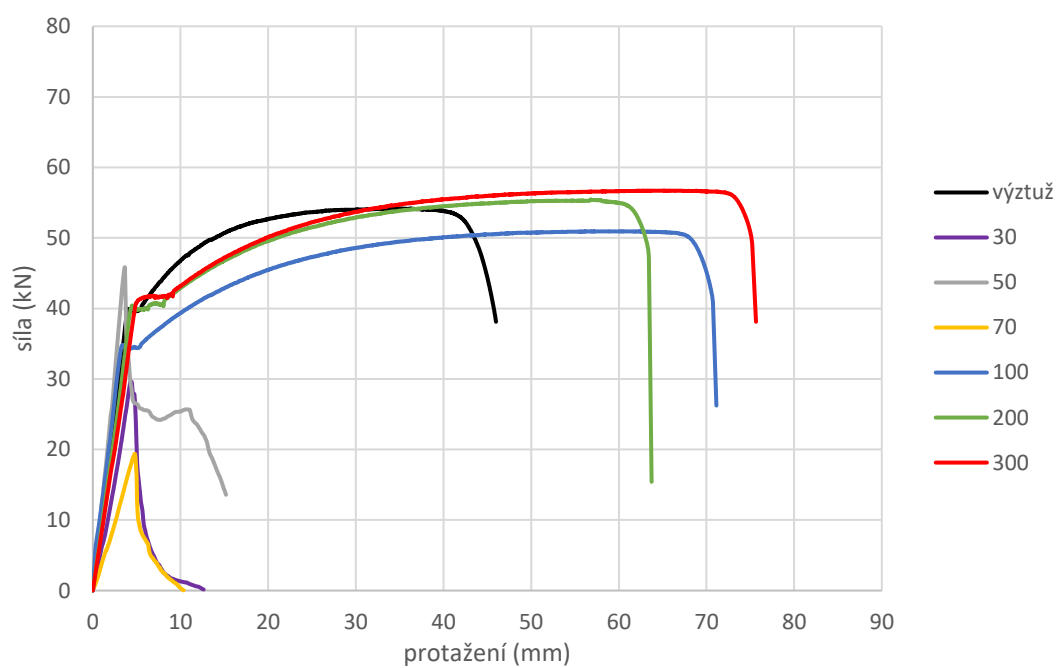
*Obr. 20 vytržení betonového kuželu*



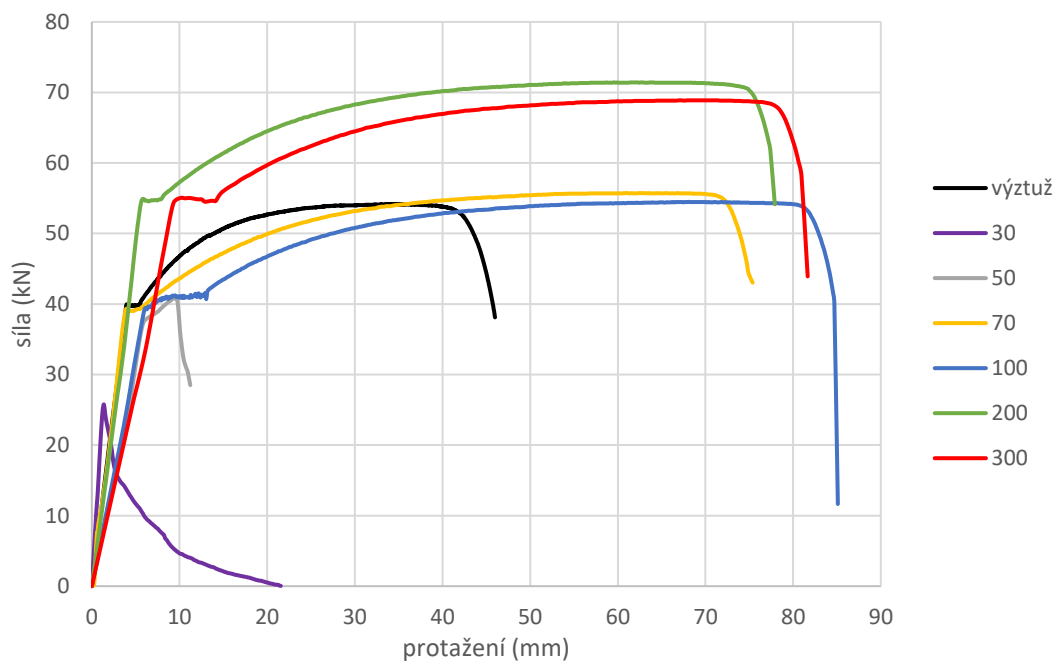
*Obr. 21 vyčištěný otvor po vytržení výztuže*



Obr. 22 pracovní diagramy pro prostý beton



Obr. 23 pracovní diagramy pro drátkobeton s 80 kg drátků na  $m^3$



Obr. 24 pracovní diagramy pro drátkobeton s 40 kg drátků na m³

## 5.2. Skutečná kotevní délka

Skutečná kotevní délka je spočítána z charakteristické tahové pevnosti stanovené zkouškami.

- Kotevní délka dle normy, při uvažování všech součinitelů  $\alpha_1 - \alpha_5$  rovných 1,0:

$$f_{bd} = 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot \frac{1,74}{1,5} = 2,61 \text{ MPa}$$

$$l_{b,rqd} = \frac{10}{4} \cdot \frac{435}{2,61} = 417 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 417 = 417 \text{ mm}$$

- Minimální kotevní délka je:

$$l_{b,min} = \max(0,3 \cdot 417, 10 \cdot 10, 100 \text{ mm}) = 125 \text{ mm}$$

- Metoda HIT Rebar:

$$l_{bd} = 1,0 \cdot 0,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 417 = 104 \text{ mm}$$



## 6. Závěr

Vyšší únosnost prutu vlepeného do drátkobetonu byla důsledkem vyšší pevnosti drátkobetonu v tahu. U drátkobetonu s 80 kg drátků na m<sup>3</sup> betonu a délky kotvení 70 mm byla výztuž nejspíš špatně nalepená, protože únosnost byla nejnižší. Tahová pevnost také ovlivnila velikost vytrženého kuželu.



*Obr. 25 vytržené kužely; zleva prostý beton, drátkobeton 40 kg drátků, drátkobeton 80 kg drátků*

Při porovnání vypočtené hodnoty a výsledků zkoušek zjistíme, že norma je na straně bezpečnosti, i při minimální hodnotě kotvení by byla výztuž přetržena. Metoda HIT Rebar je navržena pro efektivnější využití výztuže, proto má menší rezervu v délce kotvení.

## Literatura

- [1] Hilti ČR spol. s r.o., *Návrh dodatečně vlepované startovací výztuže v souladu s EC2*, 2015.
- [2] Hilti ČR spol. s r.o., *Návrh připojení nové žlb konstrukce pomocí lepené výztuže*, *Hilti webinář*, 2014.
- [3] J. Krátký, K. Trtík a J. Vodička, *Drátkobetonové konstrukce*, Praha: Informační centrum ČKAIT, 1999.
- [4] V. Petřík, *Teorie a návrh dodatečného kotvení*, 2016.
- [5] Hilti ČR spol. s r.o., *Katalog pro projektanty 2016/2017*, 2016.
- [6] Dramix, *Data sheet Dramix RC-65/35-BN*, 2010.
- [7] Hilti ČR spol. s r.o., „Dodatečně vlepovaná výztuž,“ 2017. [Online]. Available: [www.hilti.cz](http://www.hilti.cz).
- [8] M. Bačáková, „ETA, EOTA,“ 2017. [Online]. Available: <http://www.ceskestavebnictvi.cz>.

## Normy

ČSN EN 206 Beton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda

ČSN EN 1990 Eurokód 1: Zásady navrhování konstrukcí

ČSN EN 1992-1-1 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby

ČSN EN 934-2 Příklady do betonu, malty a injektážní malty – Část 2: Příklady do betonu – Definice a požadavky

ČSN EN 12390-1 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 1: Tvar, rozměry a jiné požadavky na zkušební tělesa a formy

ČSN EN 12390-2 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 2: Výroba a ošetřování zkušebních těles pro zkoušky pevnosti

ČSN EN 12390-3 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles

ČSN EN 12390-6 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 6: Pevnost v příčném tahu zkušebních těles

ČSN EN 12390-7 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 7: Objemová hmotnost ztvrdlého betonu

ČSN P 73 2450 Vláknobeton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda

TP FC 1-1 Technické podmínky 1: Vláknobeton (FC) – Část 1 Zkoušení vláknobetonu – Vyhodnocení destruktivních zkoušek a stanovení charakteristického pracovního diagramu vláknobetonu pro navrhování vláknobetonových konstrukcí